



**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

“REMOCIÓN DE PLOMO DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO LA  
CASCARILLA DE CAFÉ (*COFFEA ARABICA L.*)”

Trabajo de Investigación para optar el grado académico de:  
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Jordy Pier Pariona Palomino

Asesor:

Dr. Elvito Fabián Villegas Silva

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°015-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 15 de enero de 2020

**VISTO**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Remoción de plomo de soluciones acuosas utilizando la cascarilla de café (*Coffea arabica L.*)**, presentado por:

- **Pariona Palomino Jordy Pier**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Remoción de plomo de soluciones acuosas utilizando la cascarilla de café (*Coffea arabica L.*)** con N° de registro de la carrera: **048-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Elvito Fabián Villegas Silva** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental

## **REMOCIÓN DE PLOMO DE SOLUCIONES ACUOSAS UTILIZANDO LA CASCARILLA DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L.)**

Jordy Pier Pariona-Palomino

*Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Escuela de Ingeniería Ambiental. Panamericana Sur km 19. Lima 42.*

[jpariona@cientifica.edu.pe](mailto:jpariona@cientifica.edu.pe)

### **RESUMEN**

La contaminación proveniente de los metales pesados representa en la actualidad una gran amenaza hacia los componentes del ecosistema. La producción y eliminación de estos metales se ha incrementado a consecuencia de la industrialización y la globalización, lo que pone en peligro la existencia de la biodiversidad y del propio ser humano. Existen diversas técnicas de remoción de metales pesados, pero estos presentan diversas desventajas. Ante ello, es necesario innovar en tecnologías que nos permitan remover los metales pesados y que sean sostenibles en el tiempo y no dañinas con el ambiente. Es por ello, que este estudio revisará la información bibliográfica disponible sobre la remoción de plomo (II) de soluciones acuosas utilizando la cascarilla de café (*Coffea arabica* L.) y otros residuos agrícolas como material biosorbente de bajo costo, así como de los parámetros que influyen en el proceso de biosorción. Se encontraron que los residuos agrícolas presentaran un alto rendimiento de biosorción de plomo (II) en su mayoría superiores al 90 %, es por ello, que es necesario profundizar aún más la búsqueda de nuevos biosorbentes que sean sostenibles en el tiempo.

Palabras clave: biosorbentes, biosorción, residuos agrícolas, efluentes y metales pesados.

## **ABSTRACT**

Pollution from heavy metals is currently a major threat to the components of the ecosystem. The production and elimination of these metals has increased as a result of industrialization and globalization, which endangers the existence of biodiversity and of the human being itself. There are several techniques for removing heavy metals, but these have several disadvantages. Given this, it is necessary to innovate in technologies that allow us to remove heavy metals and that are sustainable over time and not harmful to the environment. For this reason, this study will review the bibliographic information available on the removal of lead (II) from aqueous solutions using coffee husks (*Coffea arabica* L.) and other agricultural residues as a low-cost biosorbent material, as well as the parameters that influence the biosorption process. It was found that the agricultural residues presented a high yield of biosorption of lead (II) in its majority higher than 90 %, that is why, it is necessary to further deepen the search for new biosorbents that are sustainable over time.

Keywords: biosorbents, biosorption, agricultural waste, effluents and heavy metals.

## **REVISIÓN TEÓRICA**

### **INTRODUCCIÓN**

La contaminación por metales pesados (MP) es un peligro de escala mundial que inicio en la revolución industrial (Jacob et al. 2018), principalmente, con actividades mineras, fundiciones y compuestos orgánicos para la agricultura (Carolin et al. 2017). Este problema repercute en la estabilidad del suelo y el agua (Kobielska et al. 2018), generando desequilibrios ambientales (Bello et al.

2018) y de la salud pública (Reyes et al. 2016). Uno de los elementos tóxicos identificado por el ser humano fue el plomo (Pb) y todavía tiene una gran relevancia en la actualidad (Thompson 2018). Aproximadamente la mitad del Pb extraído a nivel mundial, que para el año 2017 representó un total de cuatro millones de toneladas métricas (ILZSG 2018) provienen de China (USGS 2017); y en el Perú la producción de Pb para el año 2016 representó 310 toneladas métricas (USGS 2017).

La dinámica de la producción global del Pb (1805-2000) muestra variaciones en países como España y Canadá, y otros países como Perú y EE. UU han mantenido un crecimiento significativo (Mudd et al. 2017); esta producción está dirigida principalmente al uso de baterías y productos eléctricos (Skerfving y Bergdahl 2015). La disposición final de estos productos se hace en contenedores de desechos peligrosos y vertederos (US EPA 2018). No obstante, la mayoría de estos desechos no son manejados de manera adecuada (Vargas y Romero 2006) provocando efectos negativos en el ambiente (Acurio et al. 1997); como la acumulación y biomagnificación en los ecosistemas (Yllanes et al. 2014), la reducción del tamaño de las plantas (Ghani et al. 2010), la disminución de la biodiversidad (Bello et al. 2018), la degradación del suelo (Guerrero y Pineda 2016), acidificación de las aguas (Ramírez y Olmos 2008), y su presencia en el aire causa enfermedades respiratorias (Tello 2014).

El Perú ha presentado problemas significativos con Pb en cuencas hidrográficas, superando el ECA de agua que permite la vida en medio acuático, como el caso del río Mantaro que en la zona de depósito de escorias de Huachan, entre 2013–2015 la concentración de Pb superó hasta en 4000 % (Arce y Calderón 2017), asimismo, en el río Ramis en el 2013 sobrepasó en más de 10000 % (Argota et

al. 2014); y también en los cuerpos de agua de los Humedales de Ventanilla se determinó en el 2015 que la concentración de Pb llegaba a superar el 700 % al ECA (Fajardo et al. 2017). Además, los suelos de los parques; de Campo de Marte, El Olivar, Pentagonito, Zoológico de Huachipa y el de las Leyendas en el 2016 superaron en casi el doble la concentración de Pb establecido en el ECA de suelo (Tello et al. 2018), y entre 2013-2015 los suelos de la Oroya Antigua sobrepasaron hasta en diez veces más de lo permitido por el ECA suelo para uso industrial (Arce y Calderón 2017) de la normativa vigente.

Ante esta problemática, se está estudiando la búsqueda de adsorbentes de bajo costo como los desechos agrícolas y sustancias naturales para la remoción de MP (Gunatilake 2015, Jeguirim et al. 2017). La agricultura genera cantidades importantes de desechos vegetales a los que no se le brinda valor agregado (Navarro et al. 1995), ejemplo claro corresponde el racimo de banano que solo el 25 % es aprovechable y el 75 % se considera residuo (Chávez y Rodríguez 2016). Lamentablemente, estos son incinerados o depositados en vertederos por el costo de disposición (Solé y Flotats 2004) ocasionado la contaminación del aire y del agua (Bustos 2009), ya que estos se descomponen (pudren) al estar acumulados (Kolmans y Vásquez 1999).

En el Perú, el producto que lidera las exportaciones agrícolas es el café, existen 425 416 hectáreas dedicadas a su cultivo y esto representa el 6 % del área agrícola nacional, estos cultivos están ubicados en 17 departamentos, 67 provincias y 338 distritos (MINAGRI 2018). Asimismo, a nivel mundial la producción de café es de aproximadamente 171.2 millones de bolsas de 60 Kg y el Perú contribuye con casi el 3 % (USDA 2018).

El objetivo del estudio fue identificar la información bibliográfica disponible sobre la remoción de Pb de soluciones acuosas utilizando la cascarilla de café (*Coffea arabica* L.); por su importancia como material biosorbente de bajo costo y sostenible en el tiempo. Dándole así un valor agregado a los residuos agrícolas y empleándolos como una alternativa eficiente en la descontaminación de las aguas.

## **MARCO TEÓRICO**

### **Metales pesados**

Se considera metales pesados (MP) a aquellos cuya densidad está por encima de los 5 g/cm<sup>3</sup> (Gunatilake 2015). Actualmente, la contaminación por MP es un peligro severo a nivel global y local (Reyes et al. 2016, He y Chen 2014, Fu y Wang 2011), debido a que no son biodegradables y se movilizan por medio del agua, suelo y aire (Reyes et al. 2016, Fu y Wang 2011). La presencia de estos en el entorno se da de forma natural o antrópica (Reyes et al. 2016), y es un peligro para el ser humano y el ambiente (Bello et al. 2018, Carolin et al. 2017).

Las industrias de papel, minería, pesticidas, etc., descargan efluentes con MP (Carolin et al. 2017, Kobielska et al. 2018, Anastopoulos et al. 2017); causando contaminación del suelo y el agua, proliferación de algas (Carolin et al. 2017), drenaje ácido (Kobielska et al. 2018), el deterioro de la estructura del suelo (Guerrero y Pineda 2016), la destrucción de paisajes ecológicos y la disminución de la biodiversidad (Bello et al. 2018). La bioacumulación de MP en la cadena trófica (He y Chen 2014) y su presencia en el aire causan enfermedades respiratorias (Tello 2014). Entre los MP más predominantes en los efluentes industriales tenemos al cobre (Cu), plata (Ag), cadmio (Cd), arsénico (As), y

plomo (Pb) estos son los más comunes (He y Chen 2014, Fu y Wang 2011), y son considerados altamente tóxicos (Carolin et al. 2017). Siendo el Pb un elemento toxico que todavía tiene importante relevancia (Thompson 2018), debido a que su presencia en diferentes concentraciones genera desequilibrios ambientales (Bello et al. 2018).

### **Plomo**

El Pb es uno de los MP dañinos (Gómez-Yepes y Cremades 2013, Skerfving y Bergdahl 2015) considerado como contaminante ambiental (Ghani et al. 2010, García-Rosales y Colin-Cruz 2010, García et al. 2013). Está presente en combinación con otros elementos (Finkelstein et al. 2014) en forma de sulfuro, cerusita y galena (Acharya et al. 2009, Shukla et al. 2018, Flora et al. 2006), y es de color blanco azulado a gris (Thompson 2018). El Pb está presente en efluentes de industrias galvánicas, eléctricas, de acero y vehículos automotores (Carolin et al. 2017, Ghani et al. 2010); y es utilizado gracias a sus propiedades de resistencia a la corrosión, ductilidad y maleabilidad (Reyes et al. 2016, Bellinger, 2018, Flora et al. 2006) en su forma metálica y en aleaciones (Gómez-Yepes y Cremades 2013). Este metal se usaba incluso desde el tiempo de los romanos, se extraían de la minería (Mudd et al. 2017) y se usaban para hacer tuberías, ventanas, utensilios, etc., (Shukla et al. 2018, Bellinger 2018). Hoy en día el Pb se usa en baterías, tintas, aleaciones y en combustibles (Thompson 2018, Flora et al. 2006).

### **Efectos del plomo**

Debido a actividades como la minería, fundición y reciclaje (Flora et al. 2006), el Pb puede causar diferentes efectos negativos en el ecosistema, contaminando

el agua, aire y suelo y alterando la salud humana (**Cuadro I**). Las actividades mencionadas han tenido su origen en la revolución industrial (Jacob et al. 2018), donde el Pb ha presentado unos aumentos significativos a escala mundial y en consecuencia gran dispersión de este metal pesado en el ambiente (Bellinger 2018). Asimismo, estas actividades industriales son fuentes significantes de contaminación de MP hacia el medio ambiente. Caso concreto de esto se han evidenciado en los componentes del ecosistema en el Perú. Ante ello, es fundamental hacer una comparación de los casos reportado de contaminación por Pb en el Perú con los estándares de calidad ambiental (ECA) vigentes (**Cuadro II**).

**CUADRO I. EFECTOS NEGATIVOS DEL PLOMO (PB) EN LOS COMPONENTES DEL ECOSISTEMA Y EN LA SALUD HUMANA PRODUCTO DE ACTIVIDADES ANTROPOGÉNICAS**

<b>Metal</b>	<b>Efectos</b>	<b>Fuentes</b>
Pb <sup>+2</sup>	Acumulación en ecosistemas	Yllanes et al. 2014, He y Chen 2014
Pb <sup>+2</sup>	Disminución de la biodiversidad	Bello et al. 2018
Pb <sup>+2</sup>	Degradación del suelo	Guerreo y Pineda 2016, Tello et al. 2018
Pb <sup>+2</sup>	Fisiología de las plantas	Ghani et al. 2010, Carolin et al. 2017

Pb <sup>+2</sup>	Acidificación de las aguas	Ramírez y Olmos 2008, Kobielska et al. 2018
Pb <sup>+2</sup>	Enfermedades respiratorias	Tello 2014, Reyes et al. 2016, Shukla et al. 2018

**CUADRO II. CONTAMINACIÓN POR PLOMO (PB) EN LOS COMPONENTES DE LOS ECOSISTEMAS EN EL PERÚ Y SU COMPARACIÓN CON EL ECA VIGENTE.**

<b>Contaminación por Pb</b>	<b>Valor encontrado</b>	<b>Valor del ECA</b>	<b>ECA agua y suelo</b>	<b>Fuentes</b>
Río Mantaro	0.1 mg/L	0.0025 mg/L	Categoría 4	Arce y Calderón 2017
Río Ramis	0.26 mg/L	0.0025 mg/L	Categoría 4	Argota et al. 2014
Humedal de Ventanilla	0.02 mg/L	0.0025 mg/L	Categoría 4	Fajardo et al. 2017
Parques de Lima	266 mg/Kg PS	140 mg/Kg PS	Suelo Parques	Tello et al. 2018

Suelos de la	9000 mg/Kg	800 mg/Kg	Suelo	Arce y
Oroya	PS	PS	Extractivo	Calderón
				2017

---

Por todo esto, la eliminación de Pb del agua es una preocupación importante (García-Rosales y Colin-Cruz 2010, Fu y Wang 2011, Carolin et al. 2017), y debido a ello, se han desarrollado diferentes métodos de remoción de Pb del agua como la flotación, precipitación química, coagulación y floculación, filtración por membrana, intercambio iónico y la adsorción (Carolin et al. 2017, Fu y Wang 2011, Bello et al. 2018, He y Chen 2014, Kobielska et al. 2018).

## **TÉCNICAS DE REMOCIÓN DE METALES PESADOS**

### **Flotación**

Respeto a la flotación, esta es una tecnología de separación sólido-líquido en el cual los metales se pegan a las burbujas que se generan, estas burbujas se suspenden en la parte superior (Carolin et al. 2017, Bilal et al. 2013). Esta técnica tiene alta eficiencia y forma bajos lodos, además, el tamaño y velocidad de la burbuja son los parámetros más importantes (Patil et al. 2016). La flotación por aire disuelto, la iónica y por precipitación son los procesos principales de esta técnica para la remoción de iones metálicos presentes en el agua (Fu y Wang 2011, Bilal et al. 2013).

### **Precipitación química**

En cuanto a la precipitación química, este es el tratamiento fisicoquímico más empleado que radica en la separación de un ion metálico de una solución

(Gunatilake 2015, Ku y Jung 2001, Bilal et al. 2013), para formar la precipitación, se agregan químicos que altera el pH para que el precipitado no se disuelva en la solución (Hashim et al. 2011, Fu y Wang 2011, Bilal et al. 2013), se suele aplicar esta técnica para remoción de metales en altas concentraciones en efluentes (Carolin et al. 2017).

### **Coagulación y floculación**

Acerca de la coagulación y floculación, el primero consiste en aumentar la densidad de las partículas suspendidas para desestabilizarlas (Carolin et al. 2017, Bilal et al. 2013); segundo, la floculación consiste en la acción de los polímeros para unir las partículas suspendidas grandes en aglomerados, una vez que las partículas floculan tienen a precipitar (Fu y Wang 2011). La efectividad de este método depende del tipo de coagulante, la dosis, el pH, temperatura (Carolin et al. 2017) y del tipo de floculantes, el más usado es el  $Al_2(SO_4)$  sulfato de aluminio (Fu y Wang 2011, Carolin et al. 2017, Bilal et al. 2013).

### **Filtración por membranas**

Por otro lado, la filtración por membranas consiste en la separación física de los solutos, que se encuentran en una disolución, al atravesar una membrana selectiva a ciertos tipos de iones (Gunatilake 2015), esta técnica separa la partícula según su tamaño, concentración de solución, pH y presión (Carolin et al. 2017), y está formada por un material poroso específico para remover MP en efluentes (Patil et al. 2016). Los procesos de membrana conocidos son la ultrafiltración, ósmosis inversa y electrodiálisis (Fu y Wang 2011, Bilal et al. 2013, Gunatilake 2015).

### **Intercambio iónico**

Respecto a esta técnica, es un mecanismo que radica en la sustitución de iones que se encuentran en la superficie de un sólido por otros que están en una disolución y que presentan la misma carga (Hamdaoui 2009, Carolin et al. 2017, Patil et al. 2016), asimismo, la resina de intercambio iónico es un material sintético o natural y es utilizado para recuperar o eliminar metales (Carolin et al. 2017, Fu y Wang 2011, Bilal et al. 2013), esta tecnología presenta alto rendimiento en la eliminación de metales (Kang et al. 2004), pero, es muy costosa y no puede emplearse a gran escala (Bilal et al. 2013).

### **La adsorción**

Por último, la adsorción es considerada un método eficiente, rentable y sostenible con el ambiente (Carolin et al. 2017, Fu y Wang 2011), proporciona efluentes tratados de alta calidad, consiste en remoción de metales a través de los sitios activos que presentan los adsorbentes en su superficie. Se puede definir como la acumulación de un metal pesado en la superficie de un biosorbente (Patil et al. 2016) es una técnica reversible y no produce contaminantes tóxicos (Demirbas 2008, Fu y Wang 2011); además, existe disponibilidad de biosorbentes (Bilal et al. 2013). Sin embargo, las técnicas mencionadas en esta revisión presentan diversas desventajas y ventajas (**Cuadro III**) que van a depender del sitio contaminado, el grado de contaminación y otros factores (Bello et al. 2018, He y Chen 2014, Carolin et al. 2017) principalmente, tienen que ver con el costo, la generación de subproductos y la utilización de compuestos adicionales (Fu y Wang 2011, Rangabhashiyam y Balasubramanian 2018). Por ello, es necesario hacer una comparación de las técnicas más usadas y elegir una de acorde a la situación que se presente.

**CUADRO III. COMPARACIÓN DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE ELIMINACIÓN DE METALES PESADOS EN EFLUENTES**

<b>Técnicas</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Fuentes</b>
Flotación	Baja formación de lodos y alta eficiencia y utiliza uniones de burbujas	Altos costos de operación y mantenimiento	Carolin et al. 2017, Patil et al. 2016, Fu y Wang 2011, Bilal et al. 2013
	Barata y convencional, altas concentraciones de metales	Se agregan químicos, alta cantidad de lodos, no aplica para bajas concentraciones de metales	Carolin et al. 2017, Hashim et al. 2011, Fu y Wang 2011, Bilal et al. 2013
Precipitación química			
Coagulación/ Floculación	Alta eficiencia, aplicable a escala industrial	Alta formación de lodos, crea subproductos, alto costo de operación	Carolin et al. 2017, Fu y Wang 2011, Bilal et al. 2013, Gunatilake 2015)
Filtración por membranas	Alta eliminación de metales, menos espacio,	Costo elevado, proceso complejo, lavado a contracorriente,	Carolin et al. 2017, Gunatilake 2015, Rangabhashiyam y

	membrana	usa otros	Balasubramanian
	selectiva	compuestos,	2018, Fu y Wang
		ensuciamiento de	2011, Bilal et al.
		membrana	2013
		Elimina iones	
		metálicos	
	Alta eficiencia,	limitados, costo es	Hamdaoui 2009,
Intercambio	cinética rápida,	alto, baja	Bilal et al. 2013,
iónico	eliminación	concentración de	Carolin et al. 2017,
	selectiva de	metales, uso de	Kang et al. 2004
	metales	reactivos para la	
		regeneración	
	Menos		
	producción de		
	lodos, usa		
	adsorbentes de	Disminuye la	Carolin et al. 2017,
	bajo costo, alta	eficiencia en la	Demirbas 2008,
Adsorción	eficiencia, técnica	desorción, para el	Fu y Wang 2011,
	reversible,	caso de carbón	Bilal et al. 2013
	sostenible en el	activado alto costo	
	tiempo, no		
	produce		
	contaminantes		

Ante ello, es necesario buscar nuevas tecnologías que sean más sostenibles con el ambiente, asequibles y sostenibles en el tiempo (He y Chen 2014, Gunatilake 2015). La técnica de biosorción cumple con los requisitos mencionados (Sarı et al. 2011, Kobielska et al. 2018). Esta tecnología de biosorción es reciente y una de más prometedoras para la remoción de MP en soluciones acuosas (He y Chen 2014, Bilal et al. 2013, Fu y Wang 2011, Carolin et al. 2017).

### **Biosorción**

La biosorción de MP es un proceso de sorción (Rangabhashiyam y Balasubramanian 2018, He y Chen 2014). Se trata de la transferencia de iones de la fase de solución a una fase sólida (Gunatilake 2015). Es un proceso de traspaso de masa y sustancias unidas por interacciones físicas y químicas a la superficie sólida (Sörme y Lagerkvist 2002). En comparación con los métodos convencionales esta muestra ventajas como: bajo costo de operación, alto rendimiento de remoción de metales y no produce subproductos contaminantes (He y Chen 2014, Fu y Wang 2011, Hashim et al. 2011). Los grupos funcionales importantes que presentan los biosorbentes son los grupos carboxilo, hidroxilo, sulfato, fosfato y amina (He y Chen 2014, Hashim et al. 2011), estos aumentan la actividad de adsorción hacia la remoción del metal (Demirbas 2008). Además, los fenómenos que influyen en la técnica de biosorción son la adsorción, el intercambio iónico y la precipitación superficial (Carolin et al. 2017, Bilal et al. 2013, Gunatilake 2015).

La biosorción emplea diferentes biosorbentes que generalmente incluyen algas (He y Chen 2014, Carolin et al. 2017), hongos (Wang y Chen 2009, Wang y Chen 2006), bacterias (Jacob et al. 2018, Sahmoune 2018), y residuos agrícolas (García-Rosales y Colin-Cruz 2010, Bilal et al. 2013, Fu y Wang 2011). En la

actualidad, se está estudiando la búsqueda de adsorbentes de bajo costo. Es por ello, que se han empezado a estudiar los desechos agrícolas y sustancias naturales como adsorbentes para utilizarlos en la remoción de MP (Fu y Wang 2011, García-Rosales y Colin-Cruz 2010, Bilal et al. 2013, Bansode et al. 2003, Gunatilake 2015, Jeguirim et al. 2017).

### **Residuos agrícolas**

El proceso de biosorción utiliza residuos agrícolas como sustitutos a los adsorbentes convencionales, estos residuos son eficientes en la remoción de MP presentes en efluentes (Carolin et al. 2017). Los grupos hidroxilo presentes en la celulosa, hemicelulosa y lignina de la biomasa y los grupos funcionales como amido, amino, carboxilo, entre otros tendrán afinidad hacia los iones metálicos, ya que estos cumplen un rol fundamental en la sustitución de iones de hidrógeno por iones metálicos (Yan et al. 2010). Actualmente, se está apostando por la aplicación de material vegetal como biosorbente, debido a su costo asequible y eficiencia para la eliminación de MP. En la (**Cuadro IV**) se muestra la utilización de residuos agrícolas como biosorbentes de MP en especial del plomo (Pb).

**CUADRO IV. REMOCIÓN DE PB (II) EMPLEANDO DIFERENTES BIOSORBENTES A PARTIR DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y SU EFICIENCIA DE BIOSORCIÓN**

<b>Ion metálico</b>	<b>Residuo agrícola</b>	<b>Remoción (%)</b>	<b>pH</b>	<b>Fuente</b>
Pb <sup>2+</sup>	Biomasa de colza	94.47	5	Morosanu et al. (2017)

Pb <sup>2+</sup>	Cáscara de naranja	99.2	6	Tejada et al. (2016)
Pb <sup>2+</sup>	Zuro de maíz	67.5	6	Tejada et al. (2016)
Pb <sup>2+</sup>	Cáscara de naranja	99.5	5	Cardona et al. (2013)
Pb <sup>2+</sup>	Seudo plátano	55	-	Ramírez y Enríquez (2015)
Pb <sup>2+</sup>	Fibra de coco	97	2.5	Conrad y Bruun 2007

### Residuos de café

El café es uno de los productos más significativos que se comercializa en todo el mundo (Van y Harmsen 2010), la planta pertenece a la familia Rubiaceae y sus especies son la *Coffea arabica* y *Coffea canephora* (Anastopoulos et al. 2017, Janissen y Huynh 2018, Murthy y Naidu 2012a). Respecto a la composición química de la cascarilla de café, en mayor proporción se encuentra los carbohidratos 57.8 g y en menor la cafeína 1.2 g (**Cuadro V**).

**CUADRO V. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARILLA DEL CAFÉ (EN 100 g)**

Componentes de café	Composición de la cascarilla en (g)	Fuente
Carbohidratos	57.8	

Celulosa	43	
Hemicelulosa	7	
Humedad	12	
Lípidos	1.5 – 2.0	Murthy y Naidu
Fibra total	31.9	2012b, Janissen y
Ceniza	6	Huynh 2018,
Proteína	9.2	Shemekite et al.
Nitrógeno	1.8	2014
Cafeína	1.2	
Taninos	4.5 – 9.3	
Ácido clorogénico	12.59	

A escala mundial, la producción de café es aproximadamente 171.2 millones de bolsas de 60 Kg (USDA 2018). La cascarilla del café es un subproducto del café considerado como potencial biosorbente de MP (Jeguirim et al. 2017, Anastopoulos et al. 2017), está compuesta de piel exterior seca, pulpa y pergamino (Oliveira et al. 2008), el café genera cantidades considerables de cascarilla (Anastopoulos et al. 2017), por cada tonelada de granos de café se producen en promedio cerca de una tonelada de cáscaras, esto durante la fase del proceso en seco, pero en el proceso húmedo llega a ser casi el doble (Saenger et al. 2001).

Existen diferentes técnicas analíticas para caracterizar los residuos del café, primero el análisis de Transformada de Fourier (FTIR) que se emplea para evidenciar los grupos funcionales presentes (Anastopoulos et al. 2017), segundo el análisis de Brunauer, Emmett y Teller (BET) y el punto de carga cero (pHPZC) sirven para hallar el área superficial y el pH respectivamente, el pH afecta la ionización de los sitios activos e influye en la carga superficial y este al tomar el valor de cero se denomina carga cero pHPZC (Fiol y Villaescusa 2009), tiene carga negativa cuando el pH es mayor al pHPZC y positiva cuando es menor, estas interactúan con especies catiónicas y aniónicas respectivamente (Dulman y Cucu-Man 2009). Además, la cantidad de metal adsorbido es directamente proporcional a la superficie determinada (Tan 2010); por último, el análisis de microscopía electrónica de barrido (SEM) sirve para conocer la morfología de los adsorbentes (Anastopoulos et al. 2017, Oliveira et al. 2008). Gracias a estas caracterizaciones diversos estudios han evidenciado el poder biosorbente de la cascarilla y otros componentes del café en la remoción de MP (**Cuadro VI**).

**CUADRO VI. REMOCIÓN DE METALES PESADOS EMPLEANDO DIFERENTES COMPONENTES DEL CAFÉ**

<b>Ion metálico</b>	<b>Componente del café</b>	<b>Remoción en (%) o (mg/g)</b>	<b>Fuente</b>
Pb <sup>2+</sup>	Granos de café	96 %	Seniūnaitė et al. 2014
	Cascarilla de café	230 mg/g	Ede et al. 2014
	Cascarilla de café	50.8 mg/g	Berhe et al. 2015
Cu <sup>2+</sup>	Granos de café	97 %	Seniūnaitė et al. 2014
	Residuos de café	70 mg/g	Kyzas 2012
Cr <sup>6+</sup>	Cascarilla de café	220 mg/g	Ede et al. 2014

	Cascarilla de café	59.5 mg/g	Ede 2014
Ni <sup>2+</sup>	Granos de café agotados	24.3 mg/g	Liu et al. 2015
Zn <sup>2+</sup>	Residuos de café	4.4 mg/g	Wu et al. 2015

No obstante, existen diferentes variables que perturban el proceso de la biosorción, como es el pH, concentración del biosorbente, tiempo de contacto, concentración inicial del metal y la temperatura (Demirbas 2008, Anastopoulos et al. 2017, Jeguirim et al. 2017, Wang y Chen 2006).

### **FACTORES QUE INFLUYEN EN LA BIOSORCIÓN**

El pH es un parámetro esencial del proceso de biosorción y está relacionada con la solubilidad de los metales (Cirik et al. 2012, Abdel-Aty et al. et al. 2013, Wang y Chen 2006, Farooq et al. 2010), puesto que, los iones de hidrógeno se forman en un adsorbato competitivo (Tejada et al. 2015). A medida que el pH aumenta, las fuerzas repulsivas entre H<sup>+</sup> y los iones metálicos disminuyen y la sorción es más fácil (Morosanu et al. 2017), pero un valor de pH demasiado alto puede causar precipitación del analito (Wang y Chen 2006). Asimismo, la concentración del biosorbente es aquella dosis de biosorbente que está referido a los sitios de unión de metales en la biomasa (Monteiro et al. 2012, Zaib et al. 2016). Al incrementarse la cantidad de biosorbente habrá mayor remoción de MP debido a la disponibilidad de sitios activos (Rangabhashiyam y Balasubramanian 2018, Wang y Chen 2006).

Por otro lado, el tiempo de contacto de biosorción es muy importante, ya que este parámetro muestra la optimización de la biosorción (Montazer-Rahmati et al. 2011, Wang y Chen 2006). Además, cuando se elimina una concentración

menor de Pb, el tiempo llega al equilibrio de biosorción (Albis et al. 2016). Además, la concentración inicial del metal es otro parámetro que proporciona una importante fuerza motriz para superar las resistencias de transferencia de masa del metal entre las fases acuosa y líquida (Sahmoune 2018). Por ello, a mayor concentración inicial del metal es mejor el proceso de biosorción (Wang y Chen 2006)

Por último, la temperatura es una variable que afecta en el proceso de biosorción (Morosanu et al. 2017, Wang y Chen 2006), la temperatura aumenta la biosorción de metales, ya que aumenta los sitios activos del biosorbente (Park et al. 2010). No obstante, un aumento significativo de esta reduce la capacidad de biosorción y causa problemas en el biosorbente (Louhab et al. 2006, Tejada et al. 2015, Farooq et al. 2010).

## **CONCLUSIONES**

Las industrias galvánicas, eléctricas, de pesticidas y minería son las principales fuentes de contaminación por plomo en el ambiente, generando desequilibrios en los componentes de las matrices ambientales como, reducción del tamaño de las plantas, disminución de la biodiversidad, degradación de los suelos, la acidificación de las aguas y como consecuencia la aparición de nuevas enfermedades afectando significativamente la salud pública.

En el Perú la contaminación por plomo supera los ECA para agua y suelo en más de 100 y 10 veces en cuencas hidrográficas y parques respectivamente. Ante esta situación, la biosorción surge como una alternativa eficiente y sostenible para la eliminación de plomo II, presente en los cuerpos de aguas.

La biosorción es una técnica que utiliza residuos agrícolas como material biosorbente de metales pesados. Siendo la cascarilla del café es un residuo agrícola con alto potencial de remoción de plomo (II). Por ser unos de los productos más significativos que se comercializa en todo el mundo y su composición química diversos estudios han evidenciado el poder biosorbente de la cascarilla y otros componentes del café en la eliminación de metales pesados.

El pH es un parámetro esencial en el proceso de biosorción pues su influencia está relacionada directamente con la solubilidad de los metales pesados. Lo que significa que a medida que el pH se incrementa, las fuerzas repulsivas entre H<sup>+</sup> y los iones metálicos disminuyen y la sorción es más fácil. Sin embargo, cuando el valor de pH es demasiado alto puede causar la precipitación del analito.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Abdel-Aty A.M., Ammar N.S., Abdel H.H. y Ali R.K. (2013). Biosorption of cadmium and lead from aqueous solution by fresh water alga *Anabaena sphaerica* biomass. *J Adv Res.* 4 (4), 367–374. DOI: 10.1016/j.jare.2012.07.004
- Acharya J., Sahu J.N., Mohanty C.R. y Meikap B.C. (2009). Removal of lead (II) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood by zinc chloride activation. *Chem. Eng. J.* 149 (1), 249–262. DOI: 10.1016/j.cej.2008.10.029
- Acurio G., Rossin A., Teixeira P.F. y Zepeda F. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Inter-American Development Bank. Washington, D.C, Estados Unidos, 130 pp.

- Albis A., Martínez J., Severiche M. y García J. (2016). Removal of lead from aqueous solution using cassava peel modified with citric acid. *AVANCES: Investigación En Ingeniería* 13 (1), 1-11.
- Anastopoulos I., Karamesouti M., Mitropoulos A.C. y Kyzas G.Z. (2017). A review for coffee adsorbents. *Journal of Molecular Liquids* 229, 555–565. DOI: 10.1016/j.molliq.2016.12.096
- Arce S. y Calderón M. (2017). Lead Contaminated Soils in the city of La Oroya-JUNIN, and its impact on the quality of the waters of the Mantaro river. *Rev. del Instituto de Investigación FIGMMG-UNMSM* 20 (40), 48-55.
- Argota G., Miranda E. y Argota H. (2014). Ecotoxicological prediction of chemistry-physical parameters, lead and cadmium in the Ramis river-Titicaca watershed, Puno-Peru. *Revista de Investigación* 5, 24–35.
- Bansode R.R., Losso J.J., Marshall W.E., Rao R. y Portier R. (2003). Adsorption of metal ions by pecan shell-based granular activated carbons. *Bioresource Technology* 89 (2), 115-119. DOI: 10.1016/S0960-8524(03)00064-6
- Bellinger D.C. (2018). Tetraethyl lead, paints, pipes, and other lead exposure routes: The Impact on Human Health. *Encyclopedia of the Anthropocene* 5, 169-175. DOI: 10.1016/B978-0-12-809665-9.09983-3
- Bello A.O., Tawabini B.S., Khalil A.B., Boland C.R. y Saleh T.A. (2018). Phytoremediation of cadmium-, lead- and nickel-contaminated water by *Phragmites Australis* in hydroponic systems. *Ecological Engineering* 120, 126–133. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2018.05.035

- Berhe S., Ayele D., Tadesse A. y Mulu A. (2015). Adsorption efficiency of coffee husk for removal of lead (II) from industrial effluents: equilibrium and kinetic study. *Int. J. Sci. Res. Publ.* 5 (9), 1-8.
- Bilal M., Shah J.A., Ashfaq T., Gardazi S.M., Tahir A.A., Pervez A., Haroon H. y Mahmood Q. (2013). Waste biomass adsorbents for copper removal from industrial wastewater-A review, *J. Hazard. Mater.* 263 (2), 322–333. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2013.07.071
- Bustos C. (2009). The solid waste problema. *Economía* 27, 121–144.
- Cardona A.F., Cabañas D.D. y Zepeda A. (2013). valuación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Revista Académica de La Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán* 17 (1), 1–9.
- Carolin C.F., Kumar P.S., Saravanan A., Joshiba G.J. y Naushad M. (2017). Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 5 (3), 2782–2799. DOI: 10.1016/j.jece.2017.05.029
- Chávez A. y Rodríguez A. (2016). Harnessing agricultural and forestry organic waste in Latin America. *Revista Academia y Virtualidad* 9 (2), 91-107. DOI: 10.18359/ravi.2004
- Cirik Y., Bekci Z.M., Buyukates Y., Ak I. y Merdivan M. (2012). Heavy metals uptake from aqueous solutions using marine algae (*Colpomenia sinuosa*): kinetics and isotherms. *Chem Ecol.* 28 (5), 469–480. DOI: 10.1080/02757540.2012.667084

- Conrad K. y Bruun H.C. (2007). Sorption of zinc and lead on coir. *Bioresource Technology*. 98 (1), 89–97. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.11.018
- Demirbas A. (2008). Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *J. Hazard. Mater.* 157 (2), 220–229. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.01.024
- Dulman V. y Cucu-Man S.M. (2010). Wood sawdust, tree bark and wood chips: waste lignocellulosic materials for dye removal. En: *Sorption Processes and Pollution*. (G. Crini. y P.M. Badot, Eds.). Presses Univ. Franche-Comté, Paris, pp. 233–267.
- Ede A.G. (2014). Adsorptive removal of Cr (VI) ion from wastewater by activated coffee husk and banana peel: comparative study. *World J. Pharm. Res.* 4 (1), 212–225.
- Ede A.G., Alemayehu H.G. y Burkute A.K. (2014). Adsorptive removal of Pb (II) and Cr (VI) from wastewater using acid untreated and acid treated coffee husks: comparative study. *Int. J. Res. Chem. Environ.* 4, 26–31
- Fajardo N., Solís H. y Gil F. (2017). Determination of heavy metals in water bodies from the Regional Conservation Area Wetlands of Ventanilla-Callao, Peru. *Revista del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM* 20 (39), 149-158.
- Farooq U., Kozinski J.A., Ain M. y Athar M. (2010). Biosorption of heavy metal ions using wheat based biosorbents – A review of the recent literature. *Bioresource Technology* 101 (14), 5043–5053. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.02.030

- Finkelstein Y., Martinez-Finley E.J., Costa L.G. y Aschner M. (2014). Lead. Encyclopedia of the Neurological Sciences 2, 848–852. DOI: 10.1016/B978-0-12-385157-4.00262-1
- Fiol N. y Villaescusa I. (2009). Determination of sorbent point zero charge: usefulness in sorption studies, Environ. Chem. Lett. 7, 79–84. DOI: 10.1007/s10311-008-0139-0
- Flora S.J.S., Flora G. y Saxena G. (2006). Environmental occurrence, health effects and management of lead poisoning. Lead 158–228. DOI: 10.1016/B978-044452945-9/50004-X
- Fu F. y Wang Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. Journal of Environmental Management 92 (3), 407-418. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.11.011
- García-rosales G. y Colín-cruz A. (2010). Biosorption of lead by maize (Zea mays) stalk sponge. Journal of Environmental Management 91 (11), 2079-2086. DOI: 10.1016/j.jenvman.2010.06.004
- Ghani A., Ullah A. y Akhtar U. (2010). Effect of lead toxicity on growth, chlorophyll and lead (Pb+) contents of two varieties of maize (Zea mays L.). Pakistan Journal of Nutrition 9 (9), 887-891. DOI: 10.3923/pjn.2010.887.891
- Gómez-Yepes M. y Cremades L. (2013). Study of lead management in typography establishments, battery reconstruction and scrap cecyclers in quindio (Colombia). Ciencia & trabajo 15 (46), 7-11. DOI: 10.4067/S0718-24492013000100003

- Guerrero M.E. y Pineda V. (2016). Conceptual model of soil pollution in the mining zone of Rasgatá baja (Tausa). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 26 (1), 57-74. DOI: 10.18359/rcin.1664
- Gunatilake S.K. (2015). Methods of Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Multidisciplinary Engineering Science Studies* 1 (1), 12–18.
- Hamdaoui O. (2009). Removal of copper (II) from aqueous phase by Purolite C100-MB cation exchange resin in fixed bed columns: Modeling. *Journal of hazardous materials* 161 (2), 737-746. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.016
- Hashim M.S., Mukhopadhyay S., Sahu J.N. y Sengupta B. (2011). Remediation technologies for heavy metal contaminated groundwater. *J. Environ. Manage.* 92 (10), 2355–2388. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.06.009
- He J. y Chen J.P. (2014). Bioresource Technology A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: Materials, performances, chemistry, and modeling simulation tools. *Bioresource Technology* 160, 67–78. DOI: 10.1016/j.biortech.2014.01.068
- ILZGS. (2018). Lead and Zinc Statistics. International Lead and Zinc Study Group [en línea]. <http://www.ilzsg.org/static/statistics.aspx> 14/08/2018.
- Jacob J.M., Karthik C., Saratale R.G., Kumar S.S., Prabakar D., Kadirvelu K. y Pugazhendhi A. (2018). Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature. *Journal of Environmental Management* 217, 56–70. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.03.077
- Janissen B. y Huynh T. (2018). Resources, Conservation & Recycling Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by- products:

A review. *Resources, Conservation & Recycling* 128, 110–117. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.001

Jeguirim M., Limousy L. y Labaki M. (2017). Chapter 9 – Environmental applications of coffee processing by-products. *Handbook of Coffee Processing By-Products* 245-297. DOI: 10.1016/B978-0-12-811290-8.00009-8

Kang S.Y., Lee J.U., Moon S.H. y Kim K.W. (2004). Competitive adsorption characteristics of  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , and  $\text{Cr}^{3+}$  by IRN-77 cation exchange resin in synthesized wastewater. *Chemosphere* 56 (2), 141-147. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2004.02.004

Kobielska P.A., Howarth A.J., Farha O.K. y Nayak S. (2018). Metal–organic frameworks for heavy metal removal from water. *Coordination Chemistry Reviews* 358, 92–107. DOI: 10.1016/j.ccr.2017.12.010

Kolmans E. y Vásquez D. (1999). *Manual de Agricultura Ecológica, una introducción a los principios básicos y su aplicación*. 2a ed. Grupo de agricultura Orgánica de ACTAF. Habana, Cuba, 157 pp.

Ku Y. y Jung I.L. (2001). Photocatalytic reduction of Cr (VI) in aqueous solutions by UV irradiation with the presence of titanium dioxide. *Water Res.* 35 (1), 135-142. DOI: 10.1016/S0043-1354(00)00098-1

Kyzas G.Z. (2012). Commercial coffee wastes as materials for adsorption of heavy metals from aqueous solutions. *Materials* 5 (10), 1826–1840. DOI: 10.3390/ma5101826

- Liu C., Pujol D., Olivella M.A., De La Torre F., Fiol N., Poch J. y Villaescusa I. (2015). The role of exhausted coffee compounds on metal ions sorption. *Water Air Soil Pollut.* 226-289. DOI: 10.1007/s11270-015-2568-2
- Louhab K., Sahmoune N. y Goma B. (2006). Kinetics of chromium sorption on biomass fungi from aqueous solution. *Am. J. Environ. Sci.* 2 (1), 31–36. DOI: 10.3844/ajessp.2006.27.32
- MINAGRI. (2018). Situación actual del café en el país. Ministerio de Agricultura y Riego [en línea]. <http://minagri.gob.pe/portal/485-feria-scaa/10775-el-cafe-peruano> 14/08/2018.
- Montazer-Rahmati M.M., Rabbani P., Abdolali A. y Keshtkar A.R. (2011). Kinetics and equilibrium studies on biosorption of cadmium, lead, and nickel ions from aqueous solutions by intact and chemically modified brown algae. *J Hazard Mater.* 185 (1), 401–407. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.09.047
- Monteiro C.M., Castro P.M.L. y Malcata F.X. (2012). Metal uptake by microalgae: underlying mechanisms and practical applications. *Biotechnol Prog.* 28 (2), 299–311. DOI: 10.1002/btpr.1504
- Morosanu I., Teodosiu C., Paduraru C., Ibanescu D. y Tofan L. (2017). Biosorption of lead ions from aqueous effluents by rapeseed biomass. *New Biotechnology* 39, 110–124. DOI: 10.1016/j.nbt.2016.08.002
- Mudd G.M., Jowitt S.M. y Werner T.T. (2017). The world's lead-zinc mineral resources: Scarcity, data, issues and opportunities. *Ore Geology Reviews* 80, 1160–1190. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.08.010

- Murthy P.S. y Naidu M.M. (2012a). Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review. *Resources, Conservation and Recycling* 66, 45–58. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.06.005
- Murthy P.S. y Naidu M.M. (2012b). Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. *Food Bioprocess Technol.* 5 (3), 897–903. DOI: 10.1007/s11947-010-0363-z
- Navarro P., Moral H., Gómez L. y Mataix B. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Universidad de Alicante. Murcia, España, 155 pp.
- Oliveira W.E., Franca A.S., Oliveira L.S. y Rocha S.D. (2008). Untreated coffee husks as biosorbents for the removal of heavy metals from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials* 152 (3), 1073–1081. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.07.085
- Park D., Yun Y.S. y Park J.M. (2010). The past, present, and future trends of biosorption. *Biotechnol Bioproc E.* 15, 86–102. DOI: 10.1007/s12257-009-0199-4
- Patil D.S., Chavan S.M. y Oubagaranadin J.U. (2016). A review of technologies for manganese removal from wastewaters. *J. Environ. Chem. Eng.* 4 (1), 468–487. DOI: 10.1016/j.jece.2015.11.028
- Ramírez J.H. y Enríquez M.K. (2015). Lead (II) removal using lignin obtained from pseudostem banana treatment. *Acta Agronómica* 64 (3), 209-213. DOI: 10.15446/acag.v64n3.43488
- Ramírez R. y Olmos H. (2008). Environmental effects of acid rain. *Revista Enlace Químico* 1 (10), 15–19

- Rangabhashiyam S. y Balasubramanian P. (2018). Characteristics, performances, equilibrium and kinetic modeling aspects of heavy metal removal using algae. *Bioresource Technology Reports* 5, 261-279. DOI: 10.1016/j.biteb.2018.07.009
- Reyes Y.C., Vergara I., Torres O.E., Díaz M. y González E.E. (2016). Heavy metals contamination: implications for health and food safety. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo* 16 (2), 66–77.
- Saenger M., Hartge E., Werther J., Ogada T. y Siagi Z. (2001). Combustion of coffee husks. *Renew. Energ.* 23, 103–121. DOI: 10.1016/S0960-1481(00)00106-3
- Sahmoune M.N. (2018). Performance of *Streptomyces rimosus* biomass in biosorption of heavy metals from aqueous solutions. *Microchemical Journal* 141, 87–95. DOI: 10.1016/j.microc.2018.05.009
- Sarı A., Uluozlü Ö.D. y Tüzen M. (2011). Equilibrium, thermodynamic and kinetic investigations on biosorption of arsenic from aqueous solution by algae (*Maugeotia genuflexa*) biomass. *Chem Eng J.* 167 (1), 155–161. DOI: 10.1016/j.cej.2010.12.014
- Seniūnaitė J., Vaiškunait R. y Bolutien V. (2014). Coffee grounds as an adsorbent for copper and lead removal from aqueous solutions. *The 9th Conference Environmental Engineering*. Vilnius, Lithuania. 22-23 de mayo, 2014.
- Shemekite F., Gómez-Brandón M., Franke-Whittle I.H., Praehauser B., Insam H. y Assefa F. (2014). Coffee husk composting: an investigation of the process using molecular and non-molecular tools. *Waste Manage* 34 (3), 642–652. DOI: 10.1016/j.wasman.2013.11.010

- Shukla V., Shukla P. y Tiwari A. (2018). Lead poisoning. *Indian Journal of Medical Specialities* 9 (3), 146–149. DOI: 10.1016/j.injms.2018.04.003
- Skerfving S. y Bergdahl I.A. (2015). Lead. *Handbook on the Toxicology of Metals* 2, 911-967. DOI: 10.1016/B978-0-444-59453-2.00043-3
- Solé F. y Flotats X. (2004). *Guía de técnicas de gestión ambiental de residuos agrarios*. Fundació Catalana de Cooperació. Sant Salvador, España, 93 pp.
- Sörme L. y Lagerkvist R. (2002). Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. *Science of the Total Environment* 298 (1), 131-145. DOI: 10.1016/S0048-9697(02)00197-3
- Tan K.H. (2010). *Principles of Soil Chemistry*. 4a ed. Taylor y Francis Group, CRC press. La Florida, USA, 342 pp.
- Tejada C., Herrera A. y Núñez J. (2016). Removal of lead using residual biomass of orange peel and corncob. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19 (1), 169–178. DOI: 10.31910/rudca.v19.n1.2016.126
- Tejada C., Villabona Á. y Garcés L. (2015). Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials. *Tecno Lógicas* 18 (34), 109–123.
- Tello L., Jave J. y Guerrero J. (2018). Analysis of Lead Quantification in Recreational Park Soils of the City of Lima-Peru. *Ecología Aplicada* 17 (1), 1-12. DOI: 10.21704/rea.v17i1.1168
- Tello V. (2014). Lead emissions Doe Run metallurgical complex and its relationship with acute respiratory infections of people in the town of Huaynacancha, district Oroya-Yauli-Junín – Perú. *Rev. del Instituto de Investigación, FIGMMG-UNMSM* 17 (33), 105-111.

Thompson L.J. (2018). Lead. *Veterinary Toxicology* 439-443. DOI:  
10.1016/B978-0-12-811410-0.00029-5

USDA. (2018). Coffee: world markets and trade. Foreign Agricultural Service. United States Department of Agriculture [en línea].  
<https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/m900nt40f/pv63g073c/n870zr23m/tropprod-06-15-2018.pdf>  
14/08/2018.

US EPA. (2018). Hazardous Waste Management Facilities and Units. United States Environmental Protection Agency [en línea].  
<https://www.epa.gov/hwpermitting/hazardous-waste-management-facilities-and-units> 14/08/2018.

USGS. (2017). Lead. Mineral Commodity Summaries. United States Geological Survey [en línea]. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/lead-statistics-and-information> 14/08/2018.

Van J. y Harmsen P. (2010). Coffee residues utilization. Wageningen UR Food & Biobased Research. Wageningen, Holanda, 75 pp.

Vargas M.V. y Romero L.G. (2006). Tecnología de inmovilización de desechos peligrosos en Costa Rica. *Tecnología En Marcha* 19 (3), 3–8.

Wang J. y Chen C. (2006). Biosorption of heavy metals by *Saccharomyces cerevisiae*: A review. *Biotechnology Advances* 24 (5), 427–451. DOI:  
10.1016/j.biotechadv.2006.03.001

- Wang J. y Chen C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances* 27 (2), 195–226. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.11.002
- Wu C. H., Kuo C.Y. y Guan S.S. (2015). Adsorption kinetics of lead and zinc ions by coffee residues. *Pol. J. Environ. Stud* 24, 761–767. DOI: 10.15244/pjoes/31222
- Yan L., Yin H., Zhang S., Leng F., Nan W. y Li H. (2010). Biosorption of inorganic and organic arsenic from aqueous solution by *Acidithiobacillus ferrooxidans* BY-3. *J. Hazard. Mater.* 178 (1), 209–217. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.01.065
- Yllanes P., Vélez-Azañero A. y Lozano S. (2010). Phytotoxic effects of lead on dekalb hybrid maize (*Zea mays* L.) in sandy and silty soil. *The Biologist* 8 (2), 337–348.
- Zaib M., Athar M.M., Saeed A., Farooq U., Salman M. y Makshoof M.N. (2016). Equilibrium, kinetic and thermodynamic biosorption studies of Hg (II) on red algal biomass of *Porphyridium cruentum*. *Green Chemistry Letters and Reviews*. 9 (4), 179-189. DOI: 10.1080/17518253.2016.1185166.